

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СИНХРОННО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е. В. КОНОНЕНКО, Б. П. ГАРГАНЕЕВ, А. Л. КИСЛИЦЫН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

В связи с возрастающим интересом к синхронно-реактивным двигателям в последнее время на страницах журнала «Электричество» опубликован ряд работ, посвященных исследованию этих двигателей [1—4]. С некоторыми положениями этих работ согласиться нельзя, особенно с результатами сравнительного анализа свойства синхронно-реактивного и нормального асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [1].

Сравнение характеристик синхронно-реактивных двигателей с асинхронными машинами базируется на использовании схемы замещения, предложенной О. Б. Певзнером [2]. Однако результаты сравнительного анализа синхронно-реактивных двигателей с асинхронными [1] нельзя признать правильными по следующей причине. При анализе предполагалось, что сравниваемые машины имеют идентичные статоры, а синхронно-реактивный двигатель следующие параметры:

$x_{ad}=1,0$ ;  $x_s=0,1$ ;  $r=0,04$ ;  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}=5$  (здесь и в дальнейшем все величины

приводятся в относительных единицах). Такие параметры не могут быть признаны реальными и поэтому не могут быть положены в основу сравнительного анализа. Действительно, подставляя в схему замещения [1] приведенные выше значения параметров, получаем, что ток идеального холостого хода  $I_1=I_0=0,92$ . При увеличении нагрузки ток возрастает и при  $M=M_{\max}$  будет равен  $I_1 \cong 2,5$ . Предположим, что в синхронно-реактивных двигателях коэффициент статической перегрузаемости  $K=\frac{M_{\max}}{M_n}=1,5$ , тогда ток статора при номинальной нагрузке равен  $I_1=1,3 \div 1,4$ , что превышает допустимый на 30÷40%.

Для того, чтобы определить, какую мощность может развить синхронно-реактивный двигатель, выполненный на базе того же статора, что и асинхронный, необходимо уменьшить ток при номинальной на-

грузке. Допуская, что параметры  $r$ ,  $x_s$ , а также отношение  $\frac{x_{ad}}{x_{aq}}$  остаются без изменений, уменьшение тока можно получить увеличением сопротивления  $x_{ad}$ . При принятых выше значениях параметров, ток статора будет равен номинальному при номинальной нагрузке, если



$x_{ad} \cong 1,7$ . Следовательно, сравнивая синхронно-реактивный и асинхронный двигатели, необходимо при принятых выше значениях параметров принимать  $x_{ad}=1,7$ , а не  $x_{ad}=1,0$  [1]. В этом случае максимальный момент синхронно-реактивного двигателя будет составлять только 45 % от максимального момента нормальной асинхронной машины, выполненной на базе того же статора, а не 60 ÷ 70 % [1].

Энергетические показатели синхронно-реактивных двигателей могут быть улучшены путем увеличения отношения  $\frac{x_d}{x_q}$ . Усовершенствованием конструкции ротора можно получить  $\frac{x_d}{x_q} = 6$  и больше [7]. В этом

случае мощность синхронно-реактивного двигателя значительно возрастает, что позволяет в габаритах асинхронного двигателя спроектировать синхронно-реактивный двигатель на ту же мощность [8].

Сравнительный анализ синхронно-реактивных и синхронных машин имеет те же недостатки. Действительно, сравнивая максимальные мощности синхронно-реактивного и синхронного двигателей, обычно исходят из уравнений электромагнитной мощности, полученных при условии пренебрежения активным сопротивлением обмотки статора [5, 6]. При этом предполагают, что синхронные реактивные сопротивления по продольной оси в двигателях равны, что делает сравнительный анализ неверным.

Известно, что максимальная электромагнитная мощность синхронного неявнополюсного двигателя при сделанных допущениях равна

$$P_{\text{мм}}^c = \frac{mUE_0}{x_d^c}. \quad (1)$$

При условии, что  $U = E_0$ ,

$$P_{\text{мм}}^c = \frac{mU^2}{x_d^c}. \quad (2)$$

Максимальная электромагнитная мощность синхронно-реактивного двигателя при тех же допущениях равна:

$$P_{\text{мм}}^{\text{ср}} = \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q^{\text{ср}}} - \frac{1}{x_d^{\text{ср}}} \right) = \frac{mU^2}{2x_d^{\text{ср}}} \left( \frac{x_d^{\text{ср}}}{x_q^{\text{ср}}} - 1 \right). \quad (3)$$

На основании сделанных выше предположений о равенстве синхронных реактивных сопротивлений, отношение максимальных мощностей синхронно-реактивного и синхронного двигателей одинаковых габаритов будет

$$C = \frac{P_{\text{мм}}^{\text{ср}}}{P_{\text{мм}}^c} = \frac{1}{2} \left( \frac{x_d^{\text{ср}}}{x_q^{\text{ср}}} - 1 \right). \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (4)  $\frac{x_d^{\text{ср}}}{x_q^{\text{ср}}} = 3$ , получим  $C = 1$ ; 0. Это говорит о том, что мощность синхронно-реактивного двигателя в тех же габаритах равна мощности синхронного двигателя. Если же отношение  $\frac{x_d^{\text{ср}}}{x_q^{\text{ср}}}$  будет больше 3, то из уравнения (4) следует, что в тех же габаритах можно выполнить синхронно-реактивный двигатель на мощ-



ность значительно большую, чем синхронный. Так, при  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}} = 5$ , что вполне реально для синхронно-реактивных двигателей,  $C = 2,0$ .

Эти данные говорят о том, что сравнительный анализ, основанный на равенстве сопротивлений  $x_d$  [5, 6], нельзя признать правильным.

При сравнении необходимо учитывать, что в правильно спроектированном синхронно-реактивном двигателе сопротивление  $x_d^{cp}$  зависит от отношения  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$ . Для построения зависимости  $x_d^{cp} = f\left(\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}\right)$  в первом приближении активным сопротивлением обмотки статора можно пренебречь. В этом случае из упрощенной круговой диаграммы синхронно-реактивного двигателя определяем

$$I_H = \frac{U}{x_d^{cp}} \sqrt{\left[\left(\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}\right)^2 - 1\right] \sin^2 \Theta_H + 1} \quad (5)$$

или

$$x_d^{cp} = \frac{U}{I_H} \sqrt{\left[\left(\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}\right)^2 - 1\right] \sin^2 \Theta_H + 1}. \quad (6)$$

На основании уравнения (6), при условии постоянства габаритов и линейной нагрузки статора, можно определить, как изменяется синхрон-

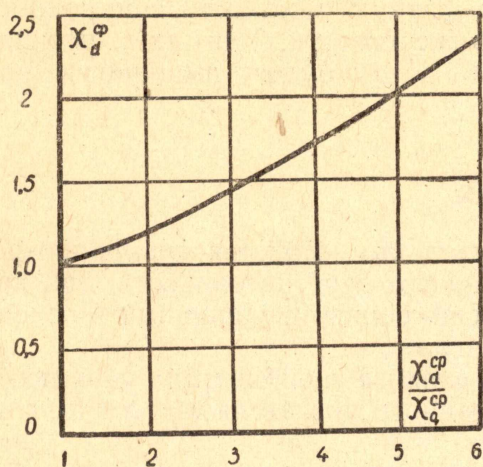


Рис. 1. Зависимость  $x_d^{cp}$  от  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$  синхронно-реактивного двигателя, рассчитанная при условии, что номинальный режим соответствует режиму, когда  $M_H = \frac{M_{max}}{1,5}$ .

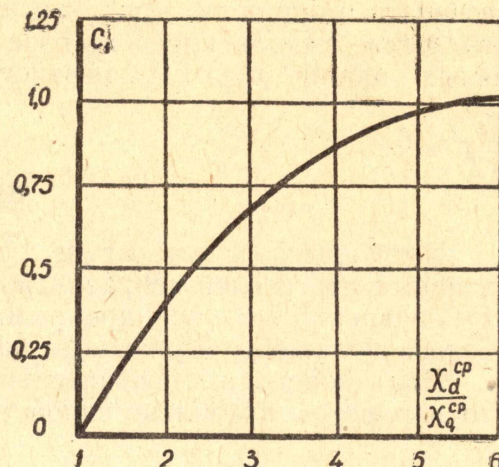


Рис. 2. Отношение максимальных мощностей синхронно-реактивного и синхронного двигателя от  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$ .

ное реактивное сопротивление  $x_d^{cp}$  в зависимости от отношения  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$ .

Эта зависимость при условии, что  $K = \frac{M_{max}}{M_H} = 1,5$  (и  $\Theta_H = 21^\circ$ ), представлена на рис. 1. Из приведенных данных следует, что при увели-



чении  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$  воздушный зазор необходимо уменьшать и наоборот. Обычно же величину воздушного зазора в синхронно-реактивных двигателях рекомендуется выбирать так же, как в асинхронных двигателях, вне зависимости от отношения  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$  [4, 5], что нельзя признать правильным.

Проводя сравнительный анализ синхронных и синхронно-реактивных двигателей, необходимо учитывать полученную зависимость  $x_d^{cp}$  от  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$ .

Уравнение (4) с учетом выше изложенного будет иметь вид

$$C_1 = \frac{P_{мп}^{cp}}{P_{мп}^c} = \frac{x_d^c}{2x_d^{cp}} \left( \frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}} - 1 \right). \quad (7)$$

Расчеты, проведенные по уравнению (7), в предположении, что сравниваемый синхронный двигатель имеет  $x_d^c = 1,0$ , представлены на рис. 2. Из приведенных данных следует, что с увеличением  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$  активная мощность, развиваемая синхронно-реактивным двигателем, увеличивается. При  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}} = 6$  синхронно-реактивный двигатель будет развивать мощность, приблизительно равную мощности синхронного двигателя, выполненного на базе того же статора. Учитывая, что для малых машин  $x_d^c > 1,0$ , равенство  $C_1 = 1,0$  будет выполнено при  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}} < 6$ .

### Выводы

Имеющиеся в литературе сравнительные свойства синхронно-реактивных двигателей неправильно отражают действительность, так как при сравнении их с асинхронными и синхронными машинами в основу анализа положены нереальные параметры.

При проведении сравнительного анализа необходимо учитывать, что параметры правильно спроектированного двигателя  $x_d^{cp}$ ,  $x_q^{cp}$  (и, следовательно, величина воздушного зазора) зависят от отношения  $\frac{x_d^{cp}}{x_q^{cp}}$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Куцевалов. Относительные характеристики и сравнительные свойства синхронной реактивной машины. «Электричество», № 10, 1962.
2. О. Б. Певзнер. Схема замещения и точная круговая диаграмма синхронно-реактивной машины. «Электричество», № 2, 1960.
3. И. М. Постников. Годограф тока и универсальная схема замещения синхронных явнополюсной и параметрической машин. «Электричество», № 8, 1960.
4. И. М. Постников, В. В. Ралле. К определению размеров параметрического (реактивного) двигателя. «Электричество», № 3, 1963.
5. Н. П. Ермолин. Электрические машины малой мощности. «Высшая школа», 1962.
6. А. Я. Бергер. Синхронные машины. ОНТИ, 1938.
7. Кавамура. Синхронные реактивные двигатели, Тосиба рэбю, 14, № 9, 1959.
8. R. J. Dineen. The synduction motor, Allis—Chalmers Electr. Rev., 21, № 4, 1956.